

Dokument: SASAK-RAP-SV-ALK-FI-0011-01

To-tråds MIG-svejsning i aluminium

SASAK
Projekt 3 - Svejsning

Carsten Jørn Rasmussen

FORCE Instituttet, oktober 1999

Indholdsfortegnelse

1	Tilbageblik	3
2	MIG/MAG-højhastighedssvejsning med enkelt tråd.....	4
3	MIG/MAG-højhastighedssvejsning med to tråde.....	5
3.1	MIG/MAG - twinarc.....	6
3.2	MIG/MAG - tandem.....	7
4	Andre forsøg med tandem MIG-svejsning i aluminium	10
5	Svejsopgave på Mærsk Container Industri A/S	11
5.1	MIG-svejsforsøg med to tråde på FORCE	11
5.2	Resultater.....	12
5.3	Vurdering.....	13

1 Tilbageblik

I 1907 tog Oscar Kjellberg patent på den beklædte elektrode, hvilket var starten til at nittede konstruktioner med tiden i stort omfang blev afløst af sammensvejste konstruktioner. I 1934 i USA opfandt man pulversvejsning. Pulversvejsning var den første virkelig effektive svejseproces, desværre viser den kun sin effektivitet, når der svejses ovenned på plane plader. Udstyret er ikke så fleksibelt som et kabel og et elektrodehåndtag, som man kender fra den manuelle elektrosvejsning.

MIG-svejsning blev introduceret i 40'erne i USA, hvor processen i begyndelsen blev anvendt til svejsning af aluminium i flyvemaskineindustrien. Først nogle år senere fandt man ud af, at der kunne svejses under et gasdække af kuldioxid (CO_2), (også kaldet CO_2 -svejsning) og MAG-svejsning blev herefter taget i anvendelse i jernindustrien.

Det var først i starten af 1970'erne, at industrien begyndte at få øjnene op for MIG/MAG-processens mange muligheder. Herefter er udviklingen gået stærkt. Svejsemaskinerne i dag er blevet betydelig mere avancerede, og der produceres bl.a. rørtråde med et væld af forskellige legeringssammensætninger. Beskyttelsesgassen er ikke som tidligere begrænset til CO_2 . Der findes i dag mange forskellige gasblandinger, som man kan vælge imellem afhængig af svejseopgavens art.

MIG/MAG-processen er kendetegnet ved at anvende kontinuerte tråde og have en forholdsvis høj produktivitet. Disse egenskaber gør MIG/MAG-processen særlig egnet til automatisering, og dermed øget muligheder for effektivisering af svejsningen.

Under bestræbelserne på at effektivisere MIG/MAG svejseprocessen blev begrebet højhastigheds-svejsning introduceret i begyndelsen af 80'erne. MIG/MAG højhastighedssvejsning er ikke en enkelt svejseteknik, men et begreb der dækker over flere forskellige måder at effektivisere MIG/MAG processen.

Generelt kan MIG/MAG-højhastighedssvejsning i dag deles op i to områder: Højhastighedssvejsning med enkelt tråd og højhastighedssvejsning med to tråde.

For alle former for MIG/MAG højhastighedssvejsning gælder, at de kun er egnede til automat eller robotsvejsning, da svejsehastighederne og kravene til brænderføringen generelt er for store til manuel svejsning.

2 MIG/MAG-højhastighedssvejsning med enkelt tråd

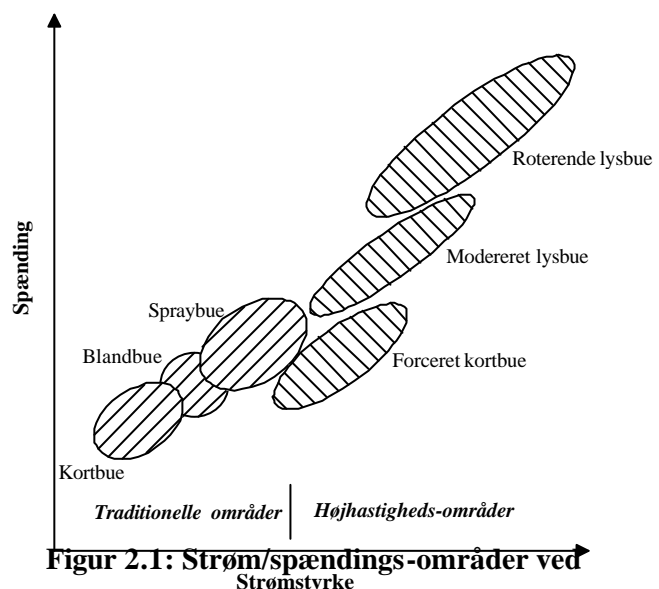
Traditionel MIG/MAG svejsning med enkelt tråd omfatter svejsning med kortbue, blandbue og spraybue. Disse lysbueformer, der afviger fra hinanden ved at have forskellige former for dråbeovergang, afhænger primært af det strøm/spændings-område der svejses i.

Gennem udvikling af MIG/MAG processen på verdensplan i de sidste 20-30 år, har man opdaget nye strøm/spændings-områder med nye lysbueformer, hvor der kan opnås betydeligt større svejsehastigheder og/eller større afsmeltningssydelser.

Ved MIG/MAG-højhastighedssvejsning med enkelt tråd i ulegeret stål anvendes normalt en massiv 0,8 - 1,2 mm tilsatstråd.

Højhastighedssvejsning med enkelt tråd kan deles op i tre strøm/spændings-områder.

- Forceret kortbue
- Modereret lysbue
- Roterende lysbue



Figur 2.1: Strøm/spændings-områder ved MIG/MAG-svejsning med enkelt tråd.

Disse lysbuetyper fås ved at øge trådudstykket og gå ud over de strøm/spændings-områder, der normalt svejses indenfor. Områdernes indbyrdes beliggenhed er groft skitseret på ovenstående figur 2.1. Områdernes størrelse og placering er stærkt afhængige af adskillige parametre. Udover strøm-

styrke og spænding som de vigtigste parametre kan følgende andre vigtige parametre nævnes: Beskyttelsesgas, kontaktdyseafstand, svejsetråd, trådfremføring, brænder orientering m.fl.

De ovennævnte former for MIG/MAG-højhastighedssvejsning med enkelt tråd anvendes i dag ikke i forbindelse med svejsning i aluminium, og teknikkerne er derfor ikke beskrevet yderligere her.

Ved MIG/MAG-svejsning med enkelt tråd i aluminium er der eksempelvis med en 1,2 mm AlMg tråd en øvre grænse for strømstyrken på ca. 350 A med en trådhastighed på 20-22 m/min. Hvis strømstyrken øges yderligere stiger lysbuetrykket kraftigt og smeltebadet bliver svært at kontrollere.

3 MIG/MAG-højhastighedssvejsning med to tråde

MIG/MAG svejsning med to tråde er en svejsemetode, der giver mulighed for at øge svejsehastigheden og afsmeltningsydelsen betydeligt, ved at tilføre to tråde til samme smeltebad, se figur 3.1.



Figur 3.1: Svejsbrænder til to-

Processen blev allerede afprøvet i 1970'erne, men på det tidspunkt havde man ikke den nødvendige teknologi til at etablere en stabil lysbue i samme smeltebad. Så sent som 1993/1994 kom de første svejsemaskiner til MIG/MAG svejsning med to tråde på markedet, og i dag kan flere forskellige leverandører tilbyde svejsemaskiner til MIG/MAG svejsning med to tråde. På trods af teknikkenes korte levetid anvendes den allerede i stort omfang i den europæiske industri, og alt tyder på at den vil finde større udbredelse i fremtiden.

Med anvendelse af to-trådsteknikken kan nedsmeltningsydelsen og svejsehastigheden øges ganske betydeligt, uden at det har negativ indflydelse på kvaliteten af den færdige svejsesøm. Det er ikke usædvanligt at svejsehastigheden under gunstige forhold kan fordobles eller tredobles. Ved MIG/MAG svejsning med to tråde er niveauet af svejseparametrene strøm og spænding på hver

tråd, i samme område som ved traditionel MIG/MAG-svejsning med spraybue eller puls-lysbue med én tråd.

Varmetilførelsen Q ved totrådsvejsning beregnes ved at addere varmetilførelsen fra hver tråd.

$$Q = 0,8 * \frac{(I_1 * U_1 + I_2 * U_2) * 60}{v * 1000} \text{ [KJ / mm]}$$

Hvor:

I_1 = strømstyrke på første tråd [A]

I_2 = strømstyrke på anden tråd [A]

U_1 = spænding på første tråd [V]

U_2 = spænding på anden tråd [V]

v = svejsehastighed [mm/min]

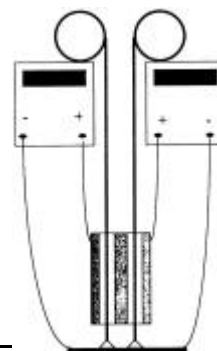
Svejsedyret til MIG/MAG-svejsning med to tråde består af to konventionelle strømkilder, med hver sin trådrulle. Trådlinerne fra hver svejsemaskine føres sammen i en slange ud til en specialbygget vandkølet brænder, hvor trådene føres ned til samme smeltebad i en afstand mellem 5 og 20 mm forskudt fra hinanden i svejseretningen, se figur 3.1.

MIG/MAG svejsning med to tråde findes i to varianter: Twinarc- og tandemsvejsning. De to varianter adskiller sig fra hinanden ved den form kontaktdyserne har og den måde lysbuen styres på.

3.1 MIG/MAG - twinarc

Ved svejsning med twinarc benyttes én dyse med to borer til tilsatstråde, se figur 3.2.

Med twinarc-teknikken anvender de to tråde således samme kontaktdyse, og som regel svejses der med samme strøm- og spændingsniveau på begge tråde. Der kan dog justeres på tråd hastigheden på de to tråde uafhængigt af hinanden.



Trådene er placeret meget tæt på hinanden, og der opstår derfor et magnetfelt rundt om begge tråde. Dette magnetfelt vil trække dråberne ind mod midten af smelten, således at smeltebadet ikke bliver ret meget bredere eller længere blot fordi der er to tråde. Den øgede svejsehastighed resulterer dog i et noget længere smeltebad.

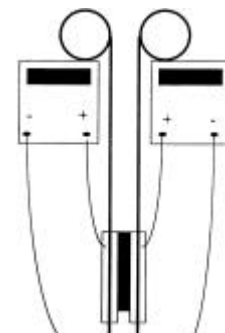
Figur 3.2:
Twinarc

Ulempen ved twinarc-teknikken er, at de to lysbuer forstyrrer hinanden, hvilket kan give anledning til en ustabil svejseproces, og deraf forholdsvis meget svejseprøjt (se figur 3.5). Det var derfor kun i de første par år efter to-trådsteknikkens introduktion, at twinarc-teknikken blev anvendt. Herefter blev tandem-teknikken tilgængelig, og på de to-trådsanlæg, der produceres i dag, anvendes der som regel kun tandem-teknikken.

3.2 MIG/MAG - tandem

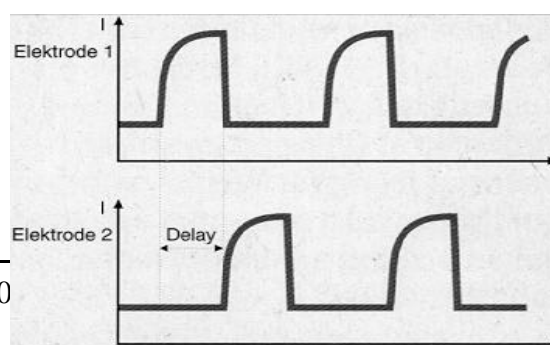
MIG/MAG tandemsvejsningen adskiller sig fra twinarc'en ved, at der benyttes to kontaktdyser, der er isoleret fra hinanden, se figur 3.1 og figur 3.3.

De to tråde styres separat af hver sin svejsemaskine, og det betyder, at der kan svejdes med helt forskellige svejseparametre på hver tråd, hvilket naturligvis giver en meget stor fleksibilitet i svejseforløbet.

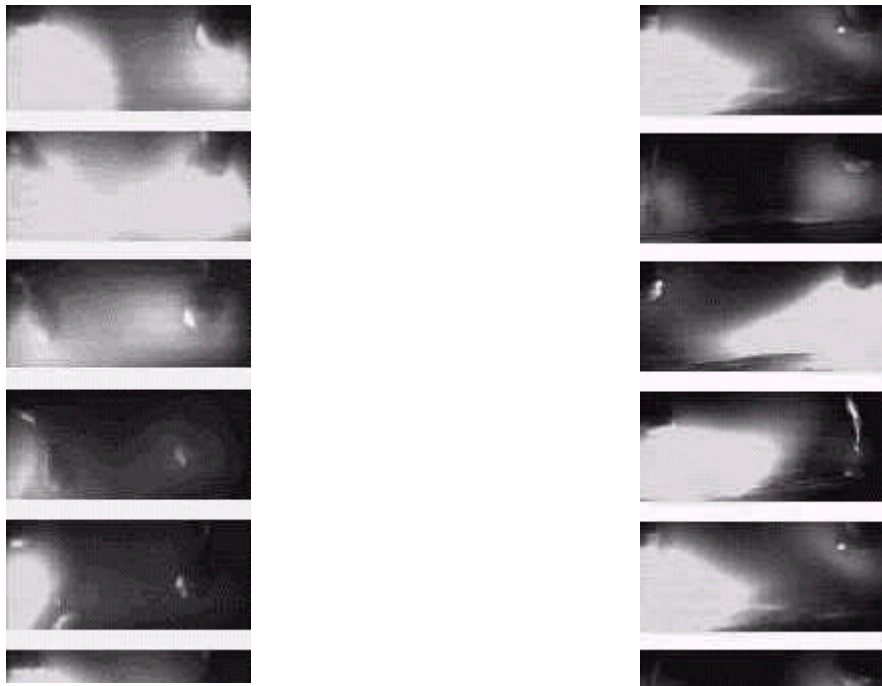


Figur 3.3:
Tandem

Ved tandem-svejsning anvendes der normalt pulssvejsning. Man har et par år efter at to-trådsteknikken blev introduceret, udviklet en styringsenhed, der kan synkroniserer pulsparementrene fra de to svejsemaskiner, således at trådene skiftevis modtager en puls, se figur 3.4. Trådene skiftes således til at afsnøre en dråbe, hvilket giver en betydelig mere stabil proces med meget lidt svejseprøjt, se figur 3.6.



Figur 3.4: Synkroniserede pulser ved tandem-svejsning



Figur 3.5: Typisk dråbeovergang ved twinarc (ustabil med svejsesprøjt)

Figur 3.6: Typisk dråbeovergang ved tandem (stabil uden svejsesprøjt)

De i længderetningen forskudte tråde bevirker, at man får et relativt langt smeltebad, hvor gasforekomster på trods af den høje svejsehastighed har tid til at slippe ud af smelten.

Dette kan specielt være en fordel ved svejsning i aluminium. Det aflange smeltebad bevirker desuden at siderne i fugen opvarmes i længere tid, hvilket resulterer i en god indbrænding i siderne på trods af en høj svejsehastighed.

En anden fordel man kan udnytte med to-trådsteknikken er, at forskyde de to tråde til siderne, og dermed kan teknikken ligeledes med fordel benyttes til eksempelvis opfyldning af større og bredere fuger, se figur 3.7.



Ved anvendelse af to-trådssvejsning i tyndere materialer med høje svejsehastigheder, kræves der en god fiksering af emnerne, og der stilles forholdsvis store krav til fugetolerancerne. For at opnå en god svejsekvalitet og de høje svejsehastigheder kræves det derudover generelt, at emnerne, der skal svejses, er rene for maling, glødeskalder og andre elementer der kan medføre en ustabil lysbue.

Figur 3.7:
Forskudte
tråde

Fugetolerancerne ved anvendelse af to-trådsteknikken i større godstykkelser kan sammenlignes med kravene til fugetolerancerne ved almindelig spraybuesvejsning med én tråd.

De sidste nye to-tråds-svejsemaskiner giver mulighed for at skifte mellem anvendelse af to tråde og én tråd. Det giver naturligvis gode muligheder for at udføre svejsearbejde på vanskelige steder, hvor det ikke er hensigtsmæssigt at benytte svejsning med to tråde.

I den forbindelse skal det nævnes, at totrådsteknikken er bedst egnet til større mængder svejsning og specielt svejsninger over længere distancer; gerne mere end én meter, for at kunne udnytte de høje svejsehastigheder.

Svejsforsøg på FORCE Institutet har vist at svejsekvaliteten opnået med to-trådssvejsning generelt kan sammenlignes med svejsekvaliteten opnået ved almindelig spraybuesvejsning med én tråd. Dette gælder ligeledes svejsningens metallurgiske egenskaber. På trods af at der i princippet tilføres effekt fra to tråde, er den samlede varmetilførelse ved to-trådssvejsning ikke større end ved almindelig MIG-svejsning med enkelt tråd, da svejsehastigheden som regel fordobles eller endda tredobles.

Svejsning med to tråde kan udover svejsning i aluminiumslegeringer benyttes til ulegerede og legerede stål, rustfaste stål. To-trådsteknikken kan bruges til svejsning i såvel små som store godstykker.

4 Andre forsøg med tandem MIG-svejsning i aluminium

Svejsforsøg i 1997 foretaget på FORCE Institutet i Brøndby viste, at man ved tandem-svejsning i aluminium af kantsømme 3 mm til 3 mm med spaltevariation mellem 0 og 2 mm kan opnå reproducerbare svejsninger med hastigheder på mellem 2 - 3,5 m/min.

Ved overlapsamling af 1,5 til 3 mm i aluminium viste forsøgene, at spaltetolerancerne er meget små, og at det er vigtigt med en god anlægsflade mod backingen. Opnåelige svejsehastigheder under disse forhold var 2 til 2,5 m/min.

Ved overlapsamlinger i 1,5 mm aluminium og mindre godstykker har det vist sig, at en god anlægsflade mod backing er særdeles vigtig for svejseresultatet. Erfaringer fra svejsforsøgene viste generelt, at der stilles forholdsvis store krav til brænderføringen og fikseringen af emner ved kombinationen af høj svejsehastighed og tynde godstykker.

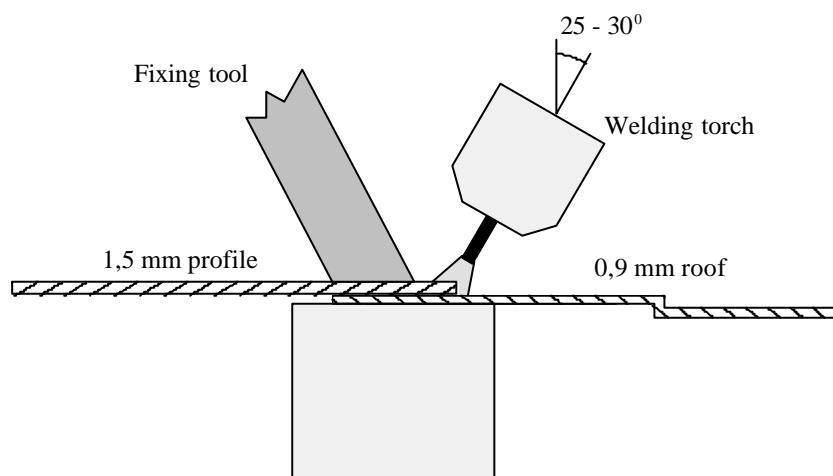
I forbindelse med SASAK-projektet blev der foretaget et omfattende forsøgs arbejde med tandemteknikken efter udgivelsen af denne rapport. Herunder indgik bl.a. undersøgelser af forskellige gasser, tråde, mulighed for indtrængning, varmetilførelse, anvendelsesmuligheder m.m.

Der henvises i den forbindelse til SASAK-rapporterne: SASAK-RAP-SV-AKS-FI-(0003-01), -(0012-00), -(0021-00), -(0026-01) og -(0027-00).

5 Svejseopgave på Mærsk Container Industri A/S

På Mærsk Container Industri (MCI) i Sønderjylland produceres der store aluminiumscontainere i store styktaal. I forbindelse med denne produktion foretages der bl.a. MIG-svejsning i aluminium. I forsøget på at reducere cyklostiden pr. container ønsker man at indføre MIG-tandemsvejsning til at svejse den konkrete svejseopgave: "Tag mod offerprofil". Denne svejseopgave består af to ca. 11 m lange overlapsamlinger i aluminium pr. container.

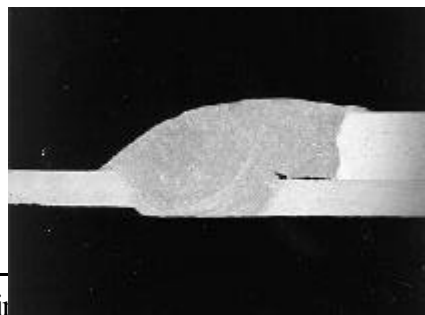
Svejseopgaven er en overlap-samling bestående af en 1,5 mm AlMg5 plade oven på en 0,9 mm ALMSi1 plade. Samlingen er fikseret med en stålklæbe på oversiden ca. 10 mm fra fugen i den side, hvor offerprofilet og tagpladen overlapper hinanden. Som understøtning af samlingen sidder der en 15 C° vandkølet plade.



Figur 5.1: Skitse af svejseopstilling ved svejsning af "Tag mod offerprofil" på MCI. (Den viste forsætning i tagpladen findes ikke i MCI's nuværende opstil-

5.1 MIG-svejsforsøg med to tråde på FORCE

På FORCE Institutet er det blevet foretaget forsøg med at løse den konkrete svejseopgave ved tandemsvejsning i en langsømsautomat. Under svejsforsøgene blev der anvendt to



1,2 mm AlMg5 tilsatstråde og 100 % Ar som beskyttelsesgas.

På figur 5.2 er der vist et eksempel på en vellykket svejsning.

Et væsentlig problem ved svejseopgaven er, at den tynde tagplade buler og kaster sig som følge af den store varmetilførelse i forhold til den lille godstykkelse, se figur 5.3.

Forsøgene viste, at der hvor udbulingerne forekom, var der en større tendens til dannelse af pore og revner og en ustabil svejseproces. Derfor har en væsentlig del af undersøgelse været at forsøge at minimere varmetilførelsen til den tynde plade.

Figur 5.2: God sveisekvalitet



Figur 5.3: Eksempel på at den tynde tagplade buler op

5.2 Resultater

I det følgende er de vigtigste erfaringer fra svejsforsøgene beskrevet.

Svejsbrænders placering sidevers

En vigtig parameter er svejsbrænders placering sidevers. Brænderen bør placeres så langt inde på det tykkere offerprofils side som muligt.

Forskydning af tråde

Det blev yderligere forsøgt at forskyde trådene, således at den forreste tråd svejsede længere inde på det tykkere offerprofil. Forskydningen reducerede graden af udbulinger, men til gengæld havde smeltebadet sværere ved at hænge sammen p.g.a. den høje svejsehastighed. Under de konkrete forhold bør trådene derfor ikke forskydes meget mere end 1 mm.

Brændervinkel sidevers

Det blev erfaret at brændervinklen sidevers bør ligge i området 20-30° ind mod offerprofilet for at minimere varmetilførelsen til det tynde 0,9 mm tagprofil.

Gasflow

Der blev svejset med Argon som beskyttelsesgas med forholdsvis store gasflow på mellem ca. 30 og 50 l/min. Der var en tendens til, at mængden af de pore, der ofte forekom som resultat af tagpladens udbulinger, var faldende, med stigende gasflow. Formentlig p.g.a. gassens kølende effekt.

Varmetilførelse

Ved at regulere på tråd hastighed, spænding og svejsehastighed blev varmetilførelsen varieret. Der blev opnået gode erfaringer med en tråd hastighed i området 6-7,5 m/min, en spænding i området 15-16 volt samt en svejsehastighed i området 2,5- 3,0 m/min, hvilket giver en samlet varmetilførelse på omkring 0,25 kJ/mm.

Fiksering af plader

Forsøgene viste, at der stilles store krav til fikseringen af pladerne. Ikke kun i forbindelse med selve fikseringen, men i høj grad også i forbindelse med afkølingsforholdene. I det konkrete tilfælde bør fikseringen placeres så tæt på overlapsømmen som muligt.

Buk af tagplade

For at afstive den 0,9 mm tynde tagplade i svejseretning, og dermed forsøge at minimere udbulinger, blev der foretaget svejseforsøg, hvor tagpladen var bukket i længderetningen i en afstand på ca. 20 mm fra overlapsamlingen, se skitse på figur 5.1. Denne afstivning i form af et buk af tagpladen havde en meget positiv effekt på udbulingerne, idet de blev reduceret kraftigt.

5.3 Vurdering

Ud fra en samlet betragtning af svejseforsøgene vurderes den aktuelle opgave på MCI til at være i yderkanten af, hvad der kan løses med MIG/MAG-tandemsvejsning. Den tynde tagplade på 0,9 mm kombineret med at overlapsømmen kun er fikseret på tagprofilets side, vanskeliggøre svejsning med tandemsvejsning.

Med en ensartet god fiksering på tagprofilets side, en stabil føring af svejsebrænderen samt en afstivning af tagprofilet i svejseretning vurderes tandemteknikken dog til at have gode chancer for at kunne anvendes.